

# 해상에서의 화학오염사고 대응 지침

방제기술정보문서

17



# 서론

화학물질의 해상물동량은 해마다 증가하고 있다. 그 결과, 화학물질 유출 대응을 위한 안전하고 효과적인 긴급계획의 개발 필요성에 대해 전 세계적인 관심이 증가하고 있다. 그러나 광범위한 화학물질들과 그들의 다양한 물리적 특성 및 유출시 서로 다른 거동, 인간의 건강과 해양환경에 미치는 잠재적인 영향들은 화학물질 유출에 따른 대비와 대응체계가 기름유출시 보다 훨씬 더 복잡하다는 것을 의미한다.

본 문서에서는 화학물질 유출 대응에 포함된 이슈들을 소개하고 제기되는 위험성의 범위와 해상유출시 화학물질의 거동, 적용 가능한 대응방안들을 간략히 검토한다.

## 화학물질이란 무엇인가?

“화학”이란 용어는 인류에 알려진 모든 물질을 포괄한다. 그러나 해상으로 운송되는 모든 화학물질이 위험한 것은 아니며 위험을 내포하는 물질들을 위험유해물질(hazardous and noxious substances, HNS)라는 용어로 정의된다. OPRC-HNS 의정서에서 HNS는 “기름을 제외한 물질로 해양환경에 유입되면 인간의 건강과 해양생물자원 또는 생명체에 해로운 물질이며 쾌적성을 손상하거나 다른 합법적인 바다의 이용에 방해가 되는 물질”로 정의된다. 특정 화학물질의 위험성은 그것의 고유특성에 의해 좌우되며, 그 자체로서, HNS는 다음의 5가지 특성 중 한 가지 이상의 특성을 보인다: 가연성, 폭발성, 독성, 부식성 및 반응성

HNS 협약에서 말하는 HNS의 또 다른 정의는 OPRC-HNS 의정서의 정의와 상당히 다르다. HNS 협약에서는 (표 1)에 기재된 IMO 협약과 규정 목록에 1가지 이상 해당될 때, 그 물질을 HNS로 분류한다. IMO 협약과 규정들은 모든 종류의 화학물질들의 안전한 수송을 보장하기 위해

<sup>1</sup> 위험·유해물질에 의한 해양오염에 대한 대비, 대응 및 협력에 관한 의정서, 2000  
<sup>2</sup> 위험유해물질의 해상운송에 관련된 위험에 대한 책임 및 보상에 대한 국제협약, 1996. 2012년 3월 현재 HNS협약은 아직 발효되지 않았다.



▲ 그림 1: 케미컬 탱커

만들어졌다. 다양한 종류의 HNS 목록에 추가하여, HNS의 종류에 따라 수송선의 설계와 건조기준, 그리고 화물에 대한 표시, 포장재, 적재방법에 대한 규칙을 규정한다. 방사성 및 전염성 물질은 HNS 협약과 본 방제기술집에서 논의로 한다.

OPRC-HNS 의정서는 사고의 대비 및 대응을 목적으로 하고 있으며, HNS협약은 보상을 목적으로 만들어졌다. 두 협약에서의 HNS의 정의는 각 협약이 다루는 화물이 서로

HNS 물질	협약과 조약
산적으로 운반된 기름	선박으로부터의 오염방지를 위한 국제협약 부속서1의 부록1, 1978 의정서에 의해 변경된 1973 (MARPOL 73/78)
액체화물	산적 위험 화학물 운반선의 건조와 설비에 관한 국제코드(IBC CODE)의 Chapter 17, MARPOL 73/78 부속서2의 부록2
가스화물	산적 액화된 가스 운반선의 건조와 설비에 관한 국제코드(IGC CODE)의 CHAPTER 19
산적고체화물	국제 해사고체산적화물코드(IMSB CODE)의 SECTION9 또한 포장양식은 IMDG 코드가 적용된다
포장된 물질	국제 해상위험물코드(IMDG CODE)

▲ 표 1: HNS 목록을 제공하는 IMO 협약과 코드 예시(www.imo.org 에서 볼 수 있음)



▲ 그림 2: 좌초된 컨테이너선으로부터 유출된 기름과 부유하는 컨테이너

일치하지 않기 때문에 큰 차이점을 가진다. 예를 들어, OPRC-HNS 의정서는 석탄, 시멘트, 다양한 금속광물, 곡물과 같은 화물을 포함한다. 이러한 화물의 유출은 질식을 통한 환경위험을 일으킨다. 곡물의 경우에는 분해 되면서 국지적으로 높은 생물학적 산소 요구량과 황화수소와 같은 유독가스를 방출시킬 수 있다. 반대로, HNS 협약은 등유나 휘발유와 같은 다수의 일반적인 비지속성 광유제품을 다루며 또한 OPRC-HNS 의정서에서 다루지 않는 지속성 유류를 포함한다. 지속성 유류는 대부분은 OPRC 90 협약 하에서 다루어진다. 한편 OPRC-HNS 의정서 2000과 HNS 협약에서는 모두 식물성 기름을 다룬다. 기름유출에 대한 대응은 뒤쪽에 수록된 보고서 목록에 있는 다른 ITOPF 방제기술정보집에서 다룬다.

## HNS의 운송

광범위한 산업에서 사용되는 화학물질의 국제적 수요 증가는 화학물질의 급격한 해양무역 증가를 초래했다. 2010년에 IMO에서는 바다로 운반이 되고, HNS 사고와 연관이 높은 상위 20개의 화학물질(원유와 그것의 액체 물질, 그리고 식물성 기름 제외)을 목록화 하였다. 이 목록은 생산된 화학물질의 양, 가장 일반적으로 운송되는 화학물질과 자주 유출된 화학물질에 대한 자료를 모아서 만들어졌다(표 2).

HNS 화물들은 산적(액체와 고체)형태와 포장형태, 2가지 방법으로 해상운송 될 수 있다. 몇 가지 서로 다른 형태의 HNS의 선박운송 아래와 같다.

- **산적화물 운반선** - 포장 없이 건조상태로 운반되는 산적 고체 화물, 예를 들어 철광석, 인광석, 석탄, 시멘트, 곡물.
- **캐미컬, 포장 또는 제품유 탱커** - 액체화물을 운반한다. 그 차이점은 탱크가 어떻게 구분되어 있느냐와 벤젠과 스티렌처럼 운반되는 화학물질의 종류에 따라 다르다.(그림1)



▲ 그림 3: 탱크테이너와 컨테이너가 함께 묶여 해안가에 좌초

- **가스운반선** - LNG(주로 메탄), LPG(프로판과 부탄)처럼 온도와 압력을 낮춰 액화된 가스를 운송한다.
- **컨테이너운반선(그림 2)** - 효과적으로 짐을 싣고 내릴 수 있는 통합 컨테이너에 포장된 물질의 화물을 운송한다. 컨테이너선에서 자주 언급되는 TEU(20 피트와 동등한 단위)는 통상적으로 컨테이너선이 운반하는 표준 크기의 컨테이너 규격이다. 일부의 컨테이너는 액체화물의 운반을 위한 isotank나 "tanktainer"를 사용한다.(그림3)
- **일반화물선** - 더 작은 화물이나 느슨한 포장화물을 운반하기 위해 팔레트, 나무상자, 박스나 드럼통을 사용하는 화물선. 선박의 형태로써, 이들은 세계에서 가장 큰 카테고리에 속한다.
- **자동차운반선** - 느슨한 포장화물, 컨테이너, 액체나 고체산적화물을 운송하는 트레일러나 철도화물 차량을 운반한다.

하나 이상의 HNS를 운반하는 컨테이너 선, 포장화물유조선, 자동차운반선 등은 다양한 화물들이 서로 섞이거나 물과 접촉할 수 있는 잠재성 때문에 탱크와 트레일러가 손상되는 보다 복잡한 문제들을 내포한다. 특히, 컨테이너와 트레일러의 특정 내용물의 식별과 위험성 평가가 어려울 수 있으며, 어떤 경우는 위험화물의 적하목록(그림 4)과 적재 계획들이 잠재적 사고의 심각성을 평가하는 데 충분한 세부사항을 제공하지 못할 수 있다.

비록 상대적으로 소량의 HNS 조차도 큰 위험성을 가질 수 있다. 예를 들어, 널리 운반되는 훈증약인 알루미늄인화물(aluminium phosphide)은 물과 반응하여 유독한 가스인 인화수소(phosphine)를 방출한다(그림 5). 선박사고는 또한 연료유나 다른 유류(그림 2, 5) 유출이 관련되어 더욱 복잡한 대응을 야기할 수 있다. 만약 HNS가 인체 건강에 대한 위험을 나타낸다면, 바다나 연안에서의 기름 유출에 대한 대응이 불가능하거나 제대로 이루어지기 어려울 수 있다.

<sup>3</sup> International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation.

순서	화학물질	거동	주요 위험
1	황산	침전성/용해성	부식/물과 발열반응/연기
2	염산	침전성/용해성	부식/물과 발열반응/연기
3	수산화나트륨/가성소다	침전성/용해성	부식/물과 발열반응
4	인산	침전성/용해성	부식/물과 발열반응/연기
5	질산	침전성/용해성	부식/물과 발열반응/연기
6	LPG/LNG	가스상	가연성/폭발성
7	암모니아	가스상	독성
8	벤젠	부유성/증발성	가연성/폭발성
9	자일렌	부유성/증발성	가연성/폭발성
10	페놀	용해성/증발성	독성/가연성
11	스티렌	부유성/증발성	가연성/독성/중합
12	메탄올	부유성/용해성	가연성/폭발성
13	에틸렌글리콜	침전성/용해성	독성
14	염소	가스상(액체상으로 운반)	독성
15	아세톤	부유성/증발성/용해성	가연성/폭발성
16	질산암모늄	침전성/용해성	산화/폭발성
17	요소	침전성/용해성	자극성
18	톨루엔	부유성/증발성	가연성/폭발성
19	아크릴로니트릴	부유성/증발성/용해성	가연성/독성/중합
20	아세트산비닐	부유성/증발성/용해성	가연성/독성/중합

▲ 표 2: IMO 리스트 -HNS사고와 관련하여 가장 높은 위험을 주는 20가지 화학물질. 원유, 액상 증류된 원유 제품이나 식물성 기름은 포함하지 않는다. (출처 : MEPC/OPRC-HNS 10/5/4, WWW.IMO.ORG에서 볼 수 있다)

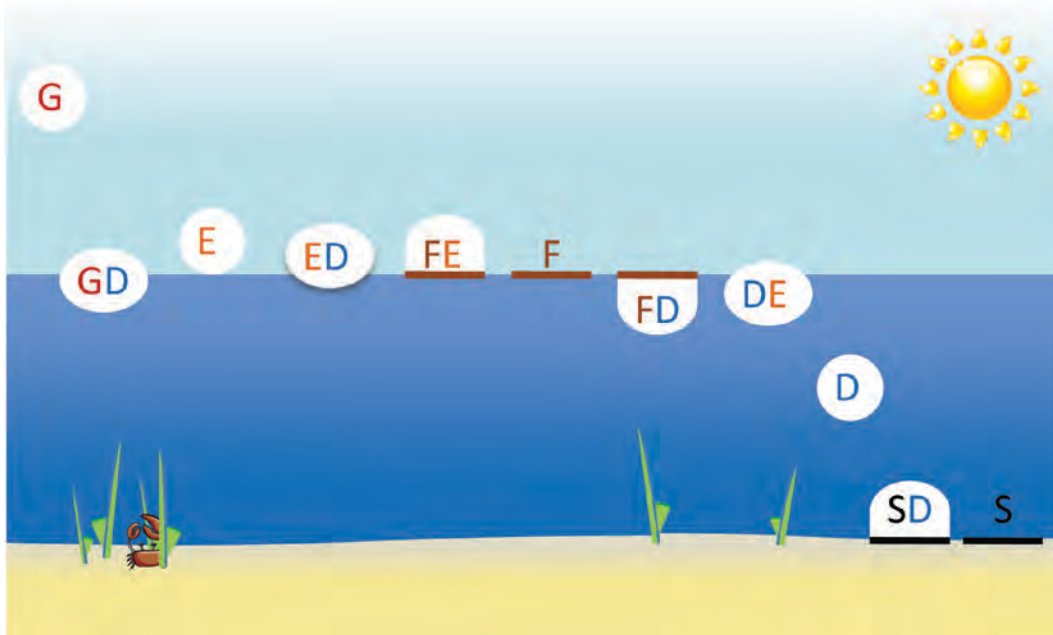
### DANGEROUS GOODS MANIFEST M/V BOXSHIP L1234567 (Inbound to Panama)

Shipper/Consignee	Pkg. No.	Shipping Description	Stowage Position	Gross Weight	Container	Port of Discharge	Shipment No.
Local Chemical Co.	25 Drums	ACROLEIN, class 6.1 UN1092, P.G. I (3), Marine Pollutant	030862	2500 Kgs	243917	NYNY	7654321
Manufacturing Co.	30 Tins	ADHESIVES (liquid), Class 3, UN1133, P.G. III Flammable Liquid	420190	19.22 Kgs	678345	NYNY	6453210
Manufacturing Co.	500 Bottles	DICHLOROMETHANE (liquid), Class 6.1, UN1593, P.G. III Toxic substance	420190	1000 Kgs	678345	NYNY	6465210



▲ 그림 4: HNS를 포함하는 2개 컨테이너의 세부사항을 제공하는 위험화학물 적재목록의 예

◀ 그림 5 : HNS의 존재가 기름 유출에 대한 대응을 방해한다. 이 그림은 해안 근처에서 발견된 기름으로 뒤덮여 식별하기 힘든 병들이다. 이 중 일부는 인화 알루미늄(삽입그림)으로 추측되며, 이는 물과 반응하면 아주 독성인 포스핀가스를 방출한다. 이 경우 상세한 위험 평가가 해안방제 인원의 안전을 보장하고자 작성되었다.



▲ 그림 6: SEBC(The Standard European Behaviour Classification, 유럽표준 거동특성분류)의 도식

## 해양환경에서 화학물질의 거동

### 물리적 거동

해양환경에 방출되었을 때 존재하는 형태에 따라 고체, 액체 또는 기체로 물질을 분류하는 것은 대응 전략을 수립할 때 유용한 수단이다. 물질의 최종형태는 증발특성, 수용성, 밀도에 따라 결정되고 결국 이것이 그 물질의 위험성을 결정한다(유독성, 가연성, 반응성, 폭발성, 부식성 등)

유럽 표준 분류 기준(SEBC)은 HNS를 수중에서의 주요

거동을 바탕으로 12가지 그룹으로 분류하였다(그림6, 표 3). 바다에 화학물질이 유출했을 때의 거동을 암시하는 주요한 특성들은 (표4)에 나타내었다. 그러나 이러한 체계는 단지 화학물질이 유출했을 때 주요한 거동특성에 대한 분류이며 각 화학물질은 다른 여러 특성을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 벤젠은 주요한 특징으로 증발특성으로 분류되지만 일정 부분 용해성을 가지고 있다. 물질 거동의 모든 측면들이 대응을 계획할 때 고려되어야 한다.

### 위험성

UN의 GHS(화학물질의 라벨과 분류기준의 조화 Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals)상에서 화학물질은 위험성의 형태에 따라 분류되고, 안전보건자료(Safety Data Sheets)와 특정

	특성 그룹	특성
G	가스	즉시 증발
GD	가스/용해	즉시 증발하고 용해
E	증발	빠르게 증발
ED	증발/용해	빠르게 증발하고 용해
FE	부유/증발	부유하고 증발
FED	부유/증발/용해	부유하고 증발하며 용해
F	부유	부유한다
FD	부유/용해	부유하고 용해
DE	용해/증발	빠르게 녹고 증발
D	용해	빠르게 용해
SD	침강/용해	가라앉고 용해
S	침강	가라앉는다

▲ 표 3: 화학물질에 대한 SEBC 시스템

<sup>4</sup> [www.unece.org/trans/danger/danger.html](http://www.unece.org/trans/danger/danger.html)



▲ 그림 7: HNS 표시를 위한 GHS 그림문자. 왼쪽에서부터 오른쪽으로 가연성, 폭발성, 산화성, 급성 독성, 부식성, 유해성/자극성, 환경 유독성, 발암물질/민감성, 압축가스. 이들은 국가별 또는 지역별 표시로 대체되기도 한다.

특성	설명
밀도	밀도, $\rho$ (물질)=질량/부피. 물질이 뜨거나 가라앉는 가능성을 나타내는 지표이다.(평균적으로 해수의 밀도는 $\rho = 1.025 \text{ g/cm}^3$ 이다). $\rho$ (벤젠) =0.88 $\text{g/cm}^3$ 은 부유하고 고체 $\rho$ (인산) =1.884 $\text{g/cm}^3$ 은 가라 앉는다.
비중	비중 = $\rho$ (물질)/ $\rho$ (물)은 단위가 없는 무차원 파라미터, 즉 단위가 없다. 물에 대한 상대밀도이다.
용해도	고체, 액체, 기체가 물에 녹을 수 있는 능력을 말한다. 해상에서, s(벤젠)=0.07%로 조금 녹고, s(인산)=100%은 혼합성이다.
증기압력	물질이 증기 형태로 증발할 수 있는 가능성을 말한다. 증기압력이 더 높을수록, 물질은 증발성이 높아진다.(느린 증발 VP) 300 Pa, 빠른 증발 VP) 3 kPa). VP(에틸렌글리콜)=500 Pa; VP(에탄올)=5 kPa, VP(프로판)=2.2 MPa
증기밀도	공기에 대한 상대적인 가스나 증기 무게로 임의적 수치 1을 가진다. 가스가 1보다 작은 증기밀도를 가지면 공기에 뜰 것이다. 반대로 가스가 1보다 큰 증기밀도를 가지면 공기 중에서 가라앉을 것이다. 이런 특성은 분자량에 근거한다. 공기의 분자량=29 amu(원자질량단위), 수소의 분자량=2 amu 그러므로 수소의 증기밀도 =2/29=0.668이므로 공기 중에 뜬다. . 핵산의 분자량=84 amu, 핵산의 증기밀도=84/29=2.9이므로 공기 중에서 가라앉을 것이다.
인화점	휘발성 물질의 인화점이란, 물질이 공기 중에 증기화되어 발화원에 노출되었을 때 점화되는 최저 온도이다. 인화점 T(페놀) =79°C, 인화점 T(벤젠) =-11.1°C
LEL(폭발최저한계)	공기 중에 가스 및 증기가 발화원이 존재하여 점화될 수 있는 가장 낮은 농도(%)이다. 공기 중 연료농도가 LEL 이하이면 점화하기에 연료가 불충분하고 공기/연료 혼합비가 “너무 작다 “라고 하고, 이를 최저연소한계 (LFL)로도 표현된다. LEL(벤젠) = 1.2% 공기 중의 부피 (12,000ppm), 20°C에서 LEL(메탄(CH <sub>4</sub> )) =5.1%.
UEL(폭발최고한계)	공기 중에 가스 및 증기가 발화원이 존재하여 점화될 수 있는 가장 높은 농도(%)이다. 공기 중 농도가 LEL 이상이면 연소를 위해 “너무 크다 “라고 하고, 이를 최고연소한계(UFL)로도 표현된다. UEL(벤젠)=7.8% 공기 중의 부피(78,000ppm)
연소범위	LEL과 UEL 사이의 농도범위
자연발화온도	점화원이 없을 때, 화학물이 점화되는 최소 온도. 자연발화 T(벤젠) = 538°C
끓는점	끓는점 T(프로판) = -42°C, 끓는점 T(암모니아) = -33°C, 끓는점 T(황산) = 337°C

▲ 표 4: 화학물질의 거동특성을 평가할 수 있는 있는 주요 물리적 성질

라벨로 그 위험성을 표시한다. GHS는 화학물질을 취급, 운송 및 사용 시 화학물질의 물리적 위험과 유독성에 관한 정보를 제공하여 인체건강과 환경보호에 기여하기 위한 목적을 가지고 있다. GHS는 2가지 그림문자세트를 구성하고 있다. 하나는 컨테이너 표시와 작업환경 위험 경고에 관한 것이다(그림7). 또 다른 하나는 위험한 물질의 운송에 사용된다(그림8). 목표 대상에 따라 둘 중 하나가 선택된다. 앞의 7개의 그림문자 처럼 위험물질은 HNS 그것 자체의 유출에 의해 발생되거나 HNS와 다른 화학물질, 물 혹은 공기와의 반응으로 발생된다.

## 가연성

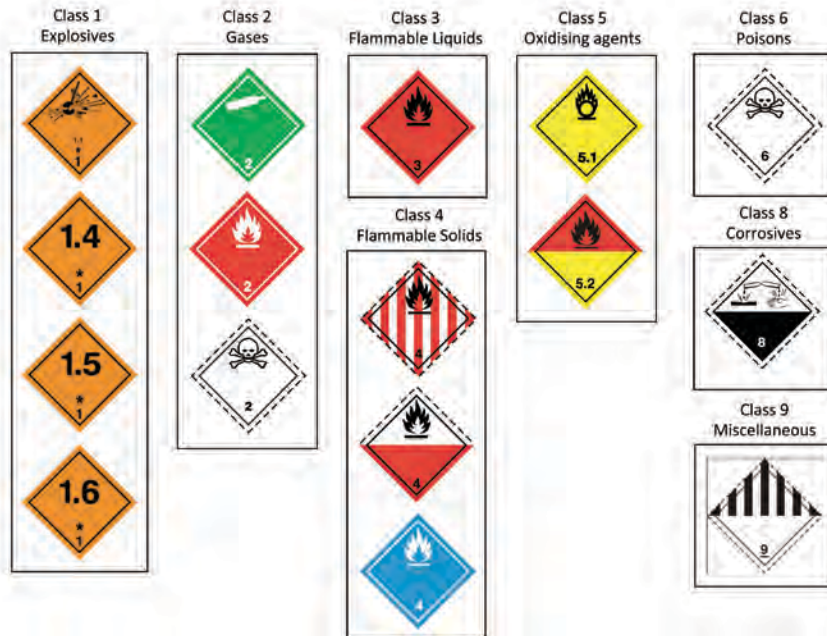
가연성은 자연 상태로 또는 점화원의 존재에 의해 물질이 쉽게 불붙는 성질을 말한다. 액체의 가연성은 증기압이나 인화점에 의해 결정된다. 가연성이 있는 액체는 낮은 비점과 인화점을 갖는다. 기타 가연성 물질은 공기와 접촉하여 자발적으로 불이 붙을 수 있다. 점화된 HNS는 열과 고체입자 그리고 독성 가스를 방출할 수 있다.(그림 9)

## 폭발성

폭발성 물질은 열, 마찰, 충격, 정전기와 같은 특정 환경에서 불안정하고 축적에너지를 방출하는 화학물질이거나 화학물질의 혼합물을 말한다. 물질들은 환경의 민감도와 폭발할 때의 속도, 그리고 화학적 조성에 의해 분류된다. 이러한 분류에서 불꽃용 연소물과 탄약류와 같은 물질들도 포함한다.

폭발은 충격파와 화재, 열을 동반한다. 특히 방출된 에너지를 신속히 분산시킬 수 없다면 큰 피해가 발생할 수 있다. 휘발성 물질과 환경조건의 폭발성 조합의 중요한 예로는 비등액체의 증기폭발 팽창(BLEVE, Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)이다. 예를 들어 압축된 액체 가스 컨테이너의 가열은 내부 액체의 비등으로 인한 과도한 압력상승으로 컨테이너를 파손 시킬 수 있다. 그 결과로 즉각적인 방출을 야기하게 되며 이런 방출은 돌발적인 화재, 화구 또는 증기 구름 폭발로 발전될 수 있다.

폭발최저한계(LEL)와 폭발최고한계(UEL)은 공기 중의



▲ 그림 8 : HNS 운송에 관한 UN 그림 문자. CLASS 1부터 6과 8은 GHS의 일부이다. CLASS 7 물질(방사성/위 그림에는 없다)과 CLASS 9(기타 물질)은 IMDG 코드 상징에는 속하지만 GHS에는 속하지 않는다.

가스나 증기가 점화원의 존재 하에 점화될 수 있는 범위를 말한다.

### 산화 위험성

산화 위험성은 그 자체로는 연소되지 않지만 산소의 공급으로 다른물질의 산화를 유발하는 물질을 말한다. 예컨대 강력한 산화제로 질산(HNO<sub>3</sub>)은 섬유물질과 격렬하게 반응한다.

### 독성

독성 화학물질은 미량의 호흡, 섭취, 피부를 통해 흡수를 통해 살아있는 유기체에 죽음이나 부상을 유발한다. 유독성은 인체 건강과 환경에 영향을 주는 위험 정도를 특정한 농도로 측정하거나 분류된다. 극성과 만성 노출 농도 한계가 흔히 인용된다. 급성노출은 독성물질에 1회 노출되었을 때 심각한 생물학적 위험과 죽음을 초래하는 노출로 정의되고 보통 하루를 넘기지 않는 것이 특징이다.

만성노출은 장기간, 통상 몇 년 혹은 몇 달 정도, 독소에 계속적으로 노출 되었을 때로 정의되고 이러한 노출은 돌이킬 수 없는 부작용을 초래한다. 높은 독성가스의 대표적인 예시로 염소가 있다.

### 부식 위험성

부식성 화학물질은 접촉을 통해 살아있는 조직(피부, 눈, 폐)과 대응 장비, 화물이나 포장화물과 같은 표면과 물질을 파괴하거나 돌이킬 수 없을 손상을 유발한다. 예로써 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)와 수산화 나트륨(NaOH)이 있다.

### 자극성 / 위험성

이러한 종류의 화학물질은 자극특성을 가지며 피부에 염증(피부염)과 살아있는 유기체의 점막(예를 들어 눈, 목구멍, 폐)에 염증을 유발하여 건강에 위해를 줄 수 있다.

### 환경적 위험

하나 이상의 환경요소에 즉각적인 또는 지연된 위험을 초래하는 물질들로서 처분에 특별한 주의가 필요한 화학물질.

### 반응성

인접 물질, 연료유, 물 혹은 공기와 부식, 분해, 산화/환원 또는 중합 반응 등 다양한 방법으로 반응할 수 있는 화학물질이다. 이러한 반응이 발열, 가연 또는 독성가스를 생성할 수 있으므로, 적절한 대응방법을 수립하기 위해서는 물질의 반응성을 아는 것이 매우 중요하다. 예를 들어, 철은 강산이나 강알칼리와 반응하여 수소를 방출하고 수소는 공기 중에서 폭발력이 큰 수소-공기 혼합물을 만든다. 어떤 화학물질은 열이나 물이 더해지면 중합반응도 할 수 있다. 중합반응은 종종 부피 팽창과 발열을 통해 물질이 보관된 컨테이너에 잠재적 손상을 입힐 수 있다. 반응성 물질은



▲ 그림 9: 일반 Ro-Ro 선박에서 선수부분의 화재로 인해 완전히 손상된 컨테이너

주변 환경과의 상호작용으로 2차 생성물로 분해 될 수 있다. 분해에 의한 특별한 위험성은 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S와 같은 가스들을 생성하는 것이다. 이들은 그 자체로 독성을 가지며, 선박의 창구와 다른 한정된 공간에서 산소 농도수준을 낮추어 특별한 안전한 활동을 요구한다. 미국 해양대기청(NOAA)의 대응 및 복원부서(Office of Response and Restoration)에서는 다운로드가 가능한 화학반응 워크시트(CRW; Chemical Reactivity Worksheet)를 제공하며, 이는 사용자에게 화학물질과 공기, 물, 다른 화학물질과의 반응성을 확인할 수 있게 한다.

## 위험성 평가

특정화물의 손실에 의해 나타나는 위험에 대한 우선순위를 결정할 때 MARPOL 73/78 부속서 2장 및 3장과 GESAMP 위험물 분석표에서 사고 위험평가의 첫번째 중요한 단계를 쉽게 찾아볼 수 있다.

### MARPOL협약

MARPOL협약은 선박에서 발생하는 오염 방지를 다루는 주요 국제협약이다. MARPOL의 2개 부속서는 HNS와 관련을 가진다.

#### 부속서2

MARPOL 부속서2는 해양에 누출되었을 때 환경오염의 원인이 되는 대량 액체화물에 대한 규정을 포함하고 있다. 부속서 내에 액체 화물이 인체 건강, 해양 자원과 편의시설에 줄 수 있는 위험에 따라 4가지의 분류를 정의하였다. 부속서 2의 부록2는 아래 4가지 분류에 따라 그룹화 된 물질의 목록이 포함되어 있다.

- **X류** - 해양자원이나 인간의 건강에 심각한 위해를 끼치는 액체 물질로서, 해양환경에 배출을 금지한다.
- **Y류** - 해양자원이나 인간의 건강에 위해를 끼치거나 해양의 쾌적성 또는 해양의 이용에 위해를 끼치는 액체 물질로서, 해양환경에 배출되는 질과 양을 제한한다.
- **Z류** - 해양자원이나 인간의 건강에 경미한 위해를 끼치는 액체물질로서, 해양환경에 배출되는 질과 양을 엄격하게 제한되지 않는다.
- **OS류** - 이러한 기타물질은 X, Y, Z 분류에 들지 않는 물질로서 해양자원이나 인간의 건강, 해양의 쾌적성 또는 해양의 이용에 위해를 끼치지 않는 것으로 간주된다.

#### 부속서3

부속서3은 포장형태로 해상 운송되는 유해한 물질의 오염 예방 조항을 다룬다. 이 규정에서는 덜 유해한 화물과 구분하기 위해 환경에 유해한 물질(해양 오염물질로 알려진)은 반드시 '해양 오염물질'로 명확히 표시되고 라벨을 붙여야 한다.(그림10)

## GESAMP의 위험물 분석표

인간과 해양환경에서 HNS로 표시되는 위험물질들이 1969년 유엔의 자문단으로 구성된 해양환경보호의 과학적 측면에 관한 전문가 그룹(GESAMP)에 의해 요약되었다. 이 그룹은 광범위한 관련분야의 전문가들로 구성된다.

GESAMP는 '해상으로 운송되는 물질의 위험성 평가'(Hazard Evaluation of Substances Transported by Ship)를 출간했다. 이 책은 운송상의 배출, 사고로 인한 유출, 혹은 선박 외부로의 손실 등 가장 흔하게 운송되는 화학물질의 위험성을 언급했다. 해상에 유출되었던 화학물질 목록 상에 사전 정의된 수많은 효과들이 각 화학물질의 특성과 관련하여 평가되었다. 이런 정보는 아래의 분류에 따라 각 물질의 위험 특성들을 정리하여 위험 분석표에 배열되었다.

- a. 생물축적, 생물분해
- b. 수생 독성
- c. 급성 포유류 독성
- d. 자극, 부식, 그리고 장기 노출 영향
- e. 해양의 이용에 미치는 간섭

GESAMP의해 작성된 위험분석표는 계속 진행 중인 작업으로 갱신된 목록은 IMO에서 관리되고 있다.

## 인간의 건강에 미치는 관계들

폭발에 의한 충격과, 화재의 의한 부상 또는 산소결핍, 화학물질의 유출과 같은 위험과 관련된 효과 외에, 화재에 의한 손해나 산소 결핍과 같은 위험과 연관된 효과들 외에도, 화학물질의 노출로부터 피부를 통한 흡수, 섭취 또는 흡입과 같은 것들이 일어날 수 있다. 흡입은 가스와 입자가 체내 유입되는 주요한 경로이다. 흡수는 건강한 피부를 통하거나 화학적으로 손상된 피부(피부염이나 화상과 같이)를 통해서 일어난다. 섭취는 위험한 물질을 삼킬 때 일어난다.

HNS 제조업체와 관련자들은 각 물질과 관련된 특정한 위험을 요약한 MSDS(물질안전보건자료)를 출판하였다. MSDS는 오랜시간에 걸쳐 UN GHS하의 SDS(안전보건자료)로 대체될 것이다. MSDS와 SDS 모두 대체로 같은 형식(그림11)을 따르고 표5에 정리된 정보들을 제공한다. 그림에도 불구하고, 신뢰와 종합성이라는 면에서 현재 MSDS가 제공하는 정보의 질은 제공자에 따라 상당히 다를 수 있으며 사고에 관련된 특정화물의 생산자로부터 관련정보를 확보하려는 시도들 모두가 매우 중요하다. GHS



◀ 그림 10: 해양오염물질 플래카드. 이 플래카드는 특정 위험물과는 관련이 없으며 해양의 모든 오염물질과 관계가 있음.

<sup>5</sup> <http://response.restoration.noaa.gov>

<sup>6</sup> [www.gesamp.org/publications/publicationdisplaypages/rs64](http://www.gesamp.org/publications/publicationdisplaypages/rs64)

<sup>7</sup> [www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention](http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention)



1. 확인
2. 위험물질 확인
3. 구성요소/성분
4. 응급처치 조치
5. 소방 조치
6. 사고방출 조치
7. 취급 & 저장
8. 노출조절/개인보호
9. 물리적특성&화학적특성
10. 안정성/반응성
11. 독성 정보
12. 생태영향 정보
13. 처분시 고려 사항
14. 운송 정보
15. 규제 정보
16. 기타 정보

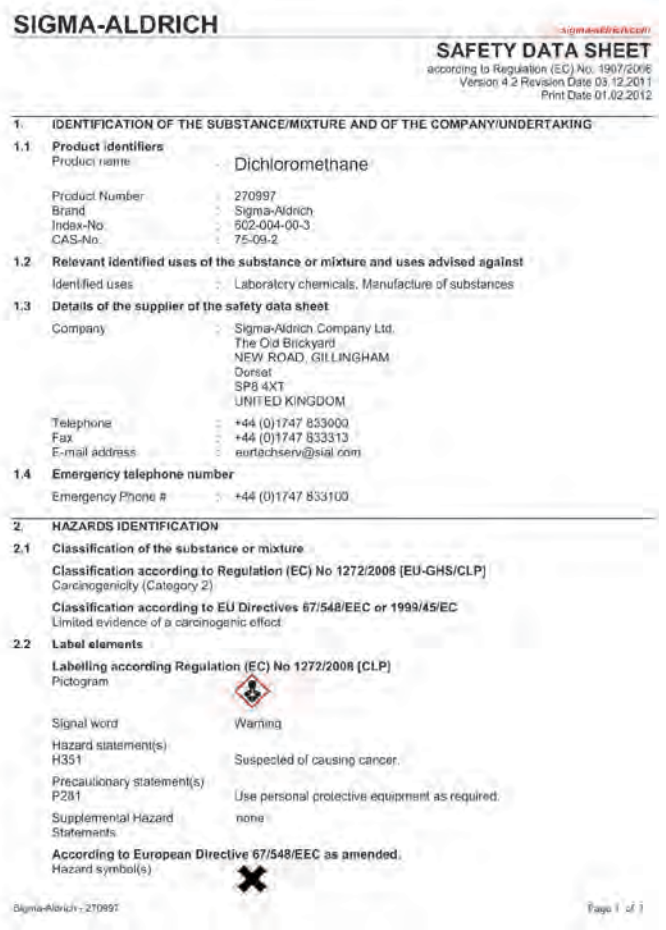
▲ 표 5 : MSDS와 SDS에서 제공하는 정보

의 철저한 업무수행을 통해 SDS는 더 일관되고 믿을만한 정보를 제공할 것이라 기대된다.

## 노출 한계

특수 정부기관과 화학 산업에서는 위험한 물질을 다루는 근로자를 보호하기 위해 노출 한계를 제정하였다. 허용되는 노출 한계(PEL ; Permissible Exposure Limits)는 대기 중에서 물질의 최대량 또는 최대농도에 대한 규제치이다. PEL은 보통 8시간(일하는 시간)을 기준으로 시간가중평균 노출기준(TWA ; Time-Weighted Average)을 측정한다. 이러한 한계는 허용한계(TLV ; Threshold Limit Values)를 기초로 한다. 허용한계는 보통의 근로자가 심각한 병이나 부상 없이 견딜 수 있는 공기 중의 가스나 증기 노출을 반영한다. 이러한 한계는 위험 물질의 만성적인 노출에 적용될 수 있으나, 유출에 따른 급성 노출에 적용되지는 않는다.

즉각적인 효과를 다루기 위해, 단기 노출한계와 최고한계가 수립된다. 이런 단기 노출 한계는 15분 동안 최대 농도에 관한 노출을 다루고 하루에 4시간 이상 반복되지 않아야 하는 것이다. 최고한계는 일정 시간을 초과하지 않아야 하는 것이고 즉각적인 효과를 보이는 자극성 물질이나 기타 물질들에 적용된다. 이러한 관점에서 IDLH(생명과 건강에 대한 즉각적인 위험이라는 기준은 가장 빈번히 사용되는 최고 노출 한계이고 일반 성인 남자의 삶과



▲ 그림 11 : 디클로로메탄에 대한 제조사 SDS의 첫 페이지

건강에 즉각적으로 위험을 주는 대기 상태를 설명한다. IDLH 한계는 원래 호흡기의 사용을 결정할 목적으로 개발되었다. IDLH한계를 정의할 때 2가지 요소가 고려되어야 한다: 근로자는 위험한 환경에서 탈출할 수 있어야 하며, 영구적인 건강 위험이나 심각한 눈 혹은 호흡기의 자극 또는 대피에 영향을 줄 수 있는 기타의 상황들에 처해서는 않는다.

잠재적 대기 방출 물질들에 대한 대응방안에 대한 보다 특성화된 지침서들이 산업체와 미국 환경청과 같은 정부기관들에 의해 지속적으로 개발되고 있다.

ERPG(긴급 대응 계획 지침; Emergency Response Planning Guidelines)는 단일 위험한 물질에 노출된 공기 농도이며 사고 예방과 긴급 대응 계획의 적정성을 평가하는 도구로써 활용하기 위해 사용된다. ERPG는 AIHA(미국산업위생연합 ; American Industrial Hygiene Association)의 ERPG 위원회에 의해 개발되었다.

AEGL(급성 노출 지침 수준; Acute Exposure Guideline Levels)은 일생에 한번 있을 법한 대기 화학물질 노출이 인간에게 주는 위험을 나타낸다. AEGL의 개발은 전 세계의 공공부문과 민간부문의 협력으로 이루어졌다. 위험물질에

<sup>8</sup> www.epa.gov/osweroe1/docs/chem/tech.pdf

<sup>9</sup> www.aiha.org

대한 AEGL의 개발에서 미국 국가자문위원회는 유출을 포함한 기타 재앙적 노출사고와 관련한 비상사태를 다루기 위한 도움을 주는 지침서를 개발하고 있다.

TEEL(임시 긴급 노출 한계; Temporary Emergency Exposure Limits)은 위험한 물질이 일반대중에게 주는 건강상의 악영향을 우려할 수준이다. TEEL은 미국 에너지부에 의해 ERPG나 AEGL이 이용가능하지 않을 때 사용할 목적으로 정의되었다.

## 해양자원에 주는 영향

하나 또는 그 이상의 화학물질이 해양환경에 주는 영향은 수많은 인자들에 좌우된다. 가장 중요한 요소는 유출된 화학물질 또는 혼합물 또는 그들 반응 물질의 유독성이다. 피해 범위는 유출량에 의해 좌우되며 이에 따른 수층에서의 농도뿐 만 아니라 해당농도에 생물군이 노출되는 시간과 특정 화학물질에 대한 유기체의 민감도에 좌우된다. 다양한 수생 종은 물질들에 대한 다양한 허용치를 보여줄 뿐만 아니라 주어진 종의 저항력은 생애 주기와 계절에 따라서도 다른 허용치를 나타낸다. 주된 기상 조건과 지역의 지형 특성도 유출의 효과에 영향을 미친다. 고요한 기상조건에서 노출된 지역의 악영향은 상대적으로 작고 서서히 확산되며 유출원과의 거리가 멀수록 피해강도도 점차 감소한다. 반면에, 강이나 제한된 수로에서는 오염원의 확산이 빠르게 하류지역으로 이동하고 그 결과 빠르게 노출 지역이 피해 농도로 확산된다.

공해 상에서 조석, 해류와 난류 확산은 일반적으로 오염물질을 빠르게 희석시킨다. 그러나 폐사를 야기하는 수준 이하의 농도, 치사농도 이하의 농도에서도 다른 영향을 미칠 수 있다. 화학적으로 유도된 스트레스는 유기체의 번식, 성장, 먹이와 기타 정상적인 기능의 전체적인 능력을 감소시킬 수 있다. 또한 이러한 화학물질의 잠재적 중요성은 비록 치사량 이하 농도에서도 물고기의 취기나 해변의 폐쇄와 같이 해양의 합법적인 사용을 저해할 수 있다는 것이다.

어떤 물질은 일단 바다에 유입되면 오랜 기간 해양환경에 잔존할 수 있다. 수은이나 기타 중금속, 살충제와 같은 유기화합물들 등은 쉽게 분해 되지 않는 물질이다. 이런 물질들이 살아있는 유기체에 의해 섭취되면 '생물축적'을 야기할 수 있다. 생물축적은 지속성 물질을 생체 내에 축적하는 것으로 특정 조직 내에 신진대사를 통한 분해 및 배출에 의한 제거율을 초과하는 비율로 축적되는 것을 말한다. 고착성 해양생물과 같이 해수를 여과하여 먹이를 섭취하는 쌍각류 연체동물(굴, 홍합)은 특히 이러한 노출에 취약하다. '생물축적'은 먹이사슬을 통해 피식자에서 포식자로 갈수록 생물축적 물질의 농도가

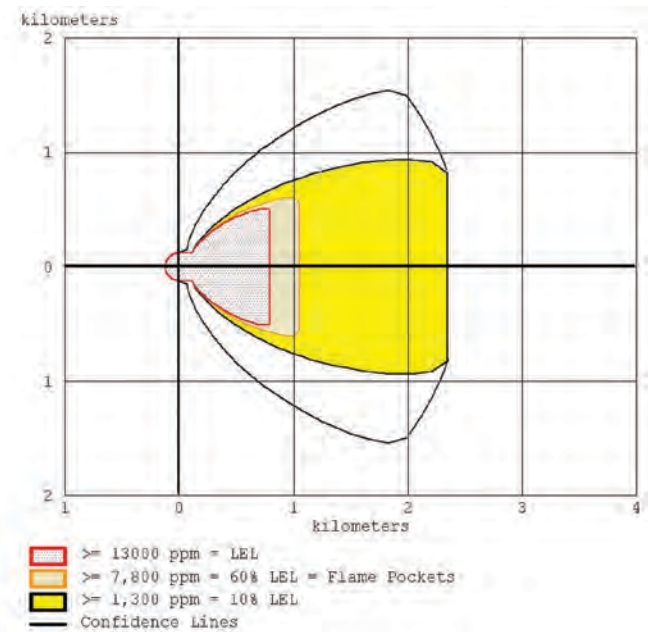
연속적으로 증가한다. 결과적으로, 물질의 가장 높은 농도는 일반적으로 상위 포식자의 조직 내에서 발견된다. 예를 들어, 플랑크톤의 소량에서부터 물고기의 더 높은 농도로 그리고 결과적으로 인간의 체내에 상당한 농도가 축적된다.

## HNS 사고대응 계획수립

인간 건강에 미치는 HNS와 관련된 유출의 잠재적인 결과는 효과적인 조직과 대응 계획수립이 매우 중요하다. 대응 팀 각 구성원의 역할이 명확히 정의 되어야하고 그들의 책임과 대응능력이 확인되어야 한다. 연습과 훈련의 요구사항들은 긴급계획상에 구체화되어야 하며, 임무를 안전하게 수행하기 위해 요구되는 기술을 가진 대응요원들을 제공하기 위해 효과적으로 수행되어야만 한다.

### 위험평가

HNS가 관련된 사고 대응시, 최초 단계는 사고물질, 사고상황 및 위치에 관계없이 일괄되게 수행된다. 완전한 상황평가, 특히 건강과 안전에 대한 측면에 초점을 맞추어 이루어지기전까지 화학사고의 현장 대응이 수행되어서는 안된다는 것이 필수적이다. 사고에 관련된 모든 화학물질과 수송 방식(산적화물, 컨테이너, 펠렛 화물, 드럼통 등) 뿐만 아니라 유출 및 배출(화학물질의 탈락, 포장위험 물질의 유실)의 특성을 확인하는 것이 중요하다. 화재와 폭발의 위험성 뿐 아니라 건강상의 위험과 인접지역에 대한 위험들이 관련 정보들을 통해 신속하게 평가되어야만 한다. 관련정보들은 IMDG 코드의 ERG(긴급반응지침서), 개별적인 MSDS(물질안전보건자료), ICSC(국제 화학물질 안전카드 International Chemical Safety Cards)와 NOAA의 CAMEO와 같은 화학 정보 데이터베이스로부터 도움을 받을 수 있다. 화학물질의 물리적 특성들 뿐 아니라 환경 조건들(대기온도와 수온, 물의 움직임, 우세한



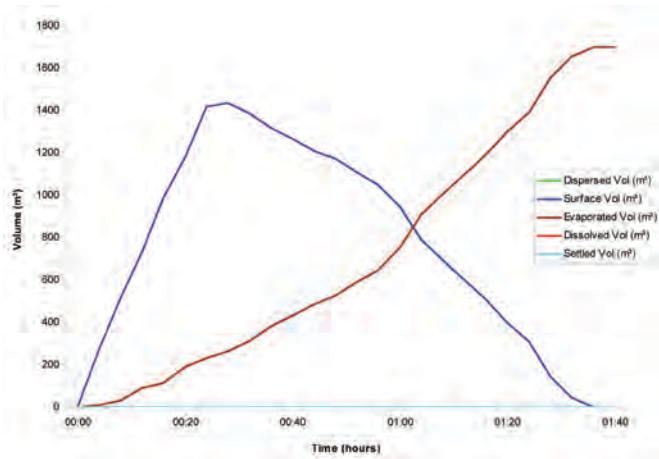
▲ 그림 12: 사고원에서부터 거리와 관련하여 사이클로hex산의 영향(폭발성)에 대한 다양한 수준을 보여주는 ALOHA모델(NOAA)의 결과물 예. ALOHA=Area Locations of Hazardous Atmospheres (위험대기지역)

<sup>10</sup> [www.epa.gov/opptintr/aegl](http://www.epa.gov/opptintr/aegl)

<sup>11</sup> [www.hss.doe.gov](http://www.hss.doe.gov)

<sup>12</sup> [www.ilo.org/icsc](http://www.ilo.org/icsc)

<sup>13</sup> Computer Aided Management of Emergency Operations



◀ 그림 13 : 침물선에서 제한적으로 시간에 따라 누출되는 사이클로hex산(C6H12)의 거동모델의 예. 이 그래프는 사이클로hex산이 수면으로 떠오르고 공기 중으로 꾸준히 증발한다는 것을 말한다. 표면 확산층은 최초 유출 이후 20 시간 후이다. 사이클로hex산은 혼합되지 않고 밀도가 0.78g/cm3이므로, 용해되고 침전되는(즉, 해저에 가라앉음) 분산량은 무시해도 될 정도이거나 0에 가깝다. (출처: Chemsys-National Chemical Emergency Centre(NCEC), <http://the-ncec.com>)

풍향 및 풍속)과 같이 비교적 간단한 특성에 기반하여, 가능한 화학물질의 거동과 운명이 우선적으로 평가될 수 있다. 이러한 위험들이 식별되고 추가적 유출의 위험성이 규명된 후, 초기 위험평가가 완료되고 적절한 대응 전략이 고려될 수 있다.

### 모델링

화학물질의 확산을 예측할 수 있는 수많은 다양한 컴퓨터 모델이 존재한다. 그중 일부는 수면을 가로지르는 2차원에서 (그림 12, 13)의 확산예측인 반면, 공기과 수층에서의 3차원 확산을 고려되기도 한다. 그러나 컴퓨터 모델은 많은 한계를 가지고 있다. 일반적인 가정을 통해 개발된 모델의 알고리즘과 소스코드는 매우 제한적으로 실제 유출에 대하여 유효하게 적용된다. 게다가, 입력데이터의

신뢰성과 운영자의 훈련수준 및 해석능력과 같은 인자들이 모델의 결과물을 검토할 때 고려되어야 한다. 그럼에도 불구하고 이러한 모델들은 긴급계획 수립과 제한된 범위의 방제작업, 특히 실시간 탐색(특히, HNS가 투명할 때)과 동반될 때 유용한 도구로 제공될 수 있다.

### 탐색

탐색은 화학유출 대응의 핵심적인 부분으로 가스 및 빠르게 증발되는 물질의 경우는 유일한 대응방안이 될 수 있다. 대응단계에서 탐색의 2가지 형식이 수행될 수 있다: 대기 확산 모니터링과 해상에서의 화학물질 확산 모니터링(수면과 수층 및 해저). 탐색은 많은 목적을 가지고 수행한다.

- 구체적인 유출 화학물질의 확인

탐지기	탐지 방법	장 점	단 점
화학물질 검지기	HNS의 종류에 따라, 노출된 HNS에 대하여 색이 변한다.	가장 간단하고 값싼 방법 중 하나이다.	특별성이 부족하고 거짓-양성 결과(오류)가 되기 쉽다.
비색계튜브(ex) 드래거 · RAZ 튜브	가스 샘플이 특정관에 도입되어 농도측정. 160개의 물질특성관은 다양한 HNS를 확인할 수 있다.	HNS를 쉽고 값싸게 감지하고 구별할 수 있다.	각각의 HNS에는 각각 다른관이 사용되어야 한다. 가능성 있는 HNS에 대한 사전지식은 false negative(거짓-음성)를 막기 위해 필요함. 1회 사용.
감광 이온화 검지기 (PID)	특정 HNS의 분자를 이온화 시키는 UV의 특정 범위 내에서, 이온화 된다. 이온측정기가 이온화된 분자를 기록.	높은 민감도. 상대적으로 저비용. 즉각적인 측정결과 획득과 연속적인 운영가능.	사용자는 측정되는 가스나 증기를 구별하는 높은 확실성을 가져야 한다.
이온 이동 분광기(IMS)	기체 샘플은 방사성 방사체에 의해 이온화 되고 깨끗한 공기 샘플과 대조된다. 사전 결정된 파라메타에 따라 식별되는 HNS가 알람을 울리게 한다.	보정을 위한 깨끗한 공기 샘플에 좌우되므로 오염물질에 덜 민감하다. 즉각적인 결과. 많은 상업적 변형기 활용가능.	상대적으로 비싸다. 일반적으로 군대나 산업용으로 한정되어 있다.
적외 분광기	Mid-IR light(빈도 4000 cm <sup>-1</sup> 에서 200cm <sup>-1</sup> )가 기체 분자를 여기시키는데 사용된다. 각각의 가스는 독특한 적외선 검출파형을 가지고 있다. 탐지는 알람을 울리게 한다.	높은 선별성을 가지는 기술. 다양한 측정기 종류가 이용가능하다. 휴대용 또는 원거리 독립형의 장비.	상대적으로 비용이 높다.

▲ 표 6: 실시간 탐지에 이용 가능한 다양한 종류의 HNS 탐지기의 장단점

- 물질의 존재 유무 측정
- 물질 농도 측정
- 안전구역 설정
- 모델의 유효성 판단

## 대기 모니터링

실시간 모니터링은 독성, 화재 및 폭발 위험평가에 사용될 수 있고, 안전 작업구역과 잠재적 대피지역을 설정하는데 도움을 주며, 적절한 수준의 개인보호장비(PPE) 판단을 지원할 수 있다. 예를 들어, 화학 셀을 이용한 산소측정기는 산소가 부족한 환경을 확인하기 위해 사용될 수 있으며, 대기 중 산소의 농도가 19.5%이하일 때, 산소호흡기(SCBA)를 착용하여야 한다.

다양한 범위의 정교함을 가지는 장비들이 HNS 탐지에 이용될 수 있다(표6). 장비를 선택할 때 고려해야하는 주요 요소 중 하나는 얼마나 빠르게 결과가 얻어지는가이며 대부분의 경우 정보들은 실시간으로 필요하다. 보다 중요한 고려사항은 탐지 장비가 자동인지와 원거리에서 사용될 수 있는지의 여부이다. 만약 휴대용 장비(그림 14)와 같이 사람의 조작이 필요하다면, 운영자는 적절한 개인보호장구(PPE)로 보호되어야 한다. 또한 모든 장비는 사용함에 있어서 훈련이 필요하고 일부 제품은 보정이 필요하다는 사실을 인지해야 한다.

## 수중 모니터링

어떤 분석 기술은 수층에서 HNS의 농도를 측정하는데 유용할 것이다. 일부 유기물질은 휴대용 가스크로마토그래피(GC), GC와 연계된 질량 분석기(휴대용 GCMS), 적정법이나 UV(자외선)/IR(적외선) 분광기를 이용하여 검출할 수 있다. 지시약 종지와 같은 간단한 방법은 산과 염기를 구분하는데 사용되는 반면, 센서형 탐침기는 생물학적 산소요구량(BOD), 전도도, 탁도, pH, 암모니아 이온, 브롬화물, 염소, 구리와 같은 무기물의 측정에 사용된다. 다른 경우에는, 해양 유기체의 탈색과 사멸 같은 생물학적 영향은 오염물 확산을 추적할 가능하게 할 수 있다. 침전된 화학물질의 모니터링은 매우 어려우며 음파측정기의 사용,



▲ 그림 14: 위험지역 밖에서 휴대용 포스핀 가스 감시 장치의 사용

ROV에 장착된 수중비디오카메라 혹은 가중 흡착제의 조합을 통해 해저의 오염물질 확산도를 확인할 수 있다.

## 개인용 보호장구(PPE)

초기위험평가 후에, 평가팀은 상황을 평가하고 선박에 대한 저감조치가 가능한지를 결정하기 위해 사고 주변지역으로 동원된다. 평가팀과 대응자들이 적절한 개인보호장구(PPE)를 착용하는 것은 분명히 필수적인 것이다.

개인보호장구(PPE)는 위험한 화학물질로부터 보호하기 위한 옷과 호흡장비를 말한다. 화학물질의 유출과 관련된 특정위험에 대하여 적절한 개인보호장구(PPE)가 선택되어야 한다. 불행하게도, 단일 재질이 모든 화학물질에 대한 보호를 보장할 수는 없다. 사용되는 재질의 보호능력은 얼마나 오랜 기간 화학물질에 노출되는가, 화학물질의 농도와 외부 온도에 의해 좌우된다. 만약 유출된 화학물질이 식별되지 않았다면, 대응자들은 최악의 시나리오를 가정하고 가장 높은 수준의 보호장비를 착용해야만 한다. 보다 더 많은 정보가 이용가능하게 됨에 따라, 낮은 수준의 개인보호장구(PPE)가 적절하다면 결정은 수정될 수 있을 것이다. 화학물질의 유출에 대한 개인보호장구(PPE) 재질의 저항력뿐만 아니라, 적절한 개인보호장구(PPE)를 고를 때 고려되는 다른 요소로는 요구되는 호흡보호의 수준과 개인보호장구(PPE) 재질의 내구성과 열에 대한 효과, 특정업무 수행을 위한 대응자의 역량이다.

미국 OSHA(Occupational Safety and Health Administration/직업안전보건부)를 포함해서 많은 정보제공기관은 보호복을 보호수준에 따라 4개의 카테고리 나눴다(레벨 A,B,C,D). 이런 4가지 수준은 대부분의 대응기관에서 숙지되어 있다. 레벨 A는 가장 높은 보호수준을 제공한다(그림15). 반면에 Level D 보호복은 작업용 유니폼 정도로 간주될 수 있으며, 위험한 수준의 HNS가 노출되지 않음이 확인된 후에 착용하여야 한다. 비록 단단한 모자나 보안안경과 같은 추가적인 아이템이 각각의 수준에서 필요하긴 하지만, 표 7은 레벨 A에서부터 레벨 D까지 개인보호장구(PPE)를 구성하는 항목들을 보여주고 있다. 안전모와 안전안경이 각 레벨에 추가적으로 포함될 수 있다. 위험도를 최소화하기 위해서 대응요원은 개인보호장구(PPE) 자체의 사용 또는 악조건에서의 사용을 통해 개인보호장구(PPE) 사용에 대한 철저한 훈련을 하는 것이 중요하다.

## HNS유출의 대응 방안

유출에 대한 대응은 바다에 유출된 특정 화학물질의 양과 위험에 의해 초래되는 위험에 비례해야 한다. 제품의 부피와 포장은 대응과정에 영향을 미친다. 예를 들어 케미컬 선의 전체 탱크에서 유출되는 산은 손상된 컨테이너 혹은 적은수의 파열된 병으로부터 유출되는 산에 비해 보다

<sup>14</sup> www.osha.gov

개인보호장구 (PPE)	레벨 A	레벨 B	레벨 C	레벨 D
공기호흡기(SCBA)	X	X		
얼굴 전면 혹은 반면 호흡기			X	
완전 캡슐형 화학 보호복(TECPS)	X			
모자가 달린 내화학성 옷		X	X	
내화학성 외부장갑	X	X	X	
내화학성 내부장갑	X	X	X	
내화학성 부츠	X	X		
일회용 보호복	X			
상하가 붙은 작업복				X

▲ 표 7: US OSHA에 따라 각각의 보호 수준에 요구되는 항목

빠르고 광범위한 피해를 줄 것이다. 또한, 알루미늄과 청산가리와 같은 일부 화학물질은 산성 조건(낮은 pH)에서 더욱 유독해질 수 있으며 접촉하는 다른 물질과의 반응과 그로 인한 2차적 반응의 위험성을 고려하여야 한다. 어떠한 경우에도 대응요원은 적절한 PPE를 착용해야 하고 대응장비와 탐지장비는 위험환경에 대처할 수 있도록 적절히 설계되어야 한다. 예를 들어, 적절한 공기여과장치나 방폭엔진을 갖추어야 한다.

다음은 다양한 그룹의 화학물질에 대한 잠재적인 대응 방법을 간단히 정리하였다.

### 가스&증발

가스나 증발하는 액상의 HNS 유출은 유독성이 있거나 대기 중에서 폭발혼합물을 형성하는 증기구름을 생성할 가능성이 있다. 결과적으로 사고선의 선원, 대응요원, 인근 인구집중 지역에 잠재적으로 건강과 안전에 영향을 미칠 수 있다. 이런 사고가 도심지 근처에서 일어났다면, 지역 소방서가 흔히 대응을 지휘하는 역할을 수행한다. 대응방안을 계획하기 위해, 가스나 증기가 어떻게 이동하고 위험한 덩어리가 어떻게 이동해 갈 것 인지 알아야한다. 오염물 대기확산 컴퓨터 모델링은 대기 오염물이 이동할 때 그

거동과 확산 및 최종 상태를 예측하는데 도움을 줄 수 있다. 안전지대는 필요시 지정할 수 있으며, 대중들에게 적절하게 권고되어야 한다.

독성, 부식성, 가연성이 있는 증기가 인구밀집 지역으로부터 멀어질 수 있도록 사고선을 이동시키는 방안이 선택될 수 있다. 만약 이것이 가능하지 않다면, 당국은 대중들에게 실내에 있거나 문과 창문을 열지 말라고 권고해야 한다. 심각한 경우 위험지역에서 대피하는 명령을 하달할 수 도 있다. 대피가 가져올 관련된 위험 -예를 들면 공황상태, 특히 인구밀집지역에서 대피하지 않고 남았을 때의 잠재적 위험과 대비해서 균형 있게 고려되어야 한다.

증기 구름을 가라앉히기('knocking down') 위해 물 분사와 폼을 이용하여 증기구름을 멈추거나 편향시키는 것과 같은 대응기술은 이에 따른 가능한 반응들을 숙지한 대응요원들에 의해 이용되어야 하며 또한 이와 관련된 위험한 결과들을 균형적으로 비교하여야 한다. 대량의 오염수 발생 결과 및 살수에 의한 범람시 사고선의 안전성이 고려되어야 한다. 이러한 방법은 암모니아, 아황산 같이 수용성 가스에 사용될 수 있다. 비수용성 가스와 관련된 화재나 폭발의 위험은 물 분사나 폼을 사용하여 뜨거운



▲ 그림 15: Level A 개인 보호장비를 착용한 대응요원



▲ 그림 16: 소방선들을 이용한 HNS 유출대응 모의훈련



▲ 그림 17: 사고점으로부터 확산되는 인광석

표면을 식히고 불꽃과 화염(그림16)을 억제함으로써 줄일 수 있다.

개방된 환경에서, 독성 증기는 자연적인 공기이동과 난기류로 인해 확산될 것이다. 종종 유일한 대응조치가 연기와 그것의 분산을 관찰하는 것이 될 수 있다.

## 용해

바다로 이동되는 화학물질의 상당부분은 수용성 물질이다. 바다에 유출된 용해 화학물질은 확산층이 사고지점에서 멀어질수록 확대되며 농도가 감소한다(그림17). 많은 용해 물질은 눈에 보이지 않고 빠르게 확산된다. 이는 수층에서의 농도를 모니터링하는 것이 수월치 않음을 의미한다. 그러나 컴퓨터 모델은 물질의 분산과 운명과 같은 유용한 정보를 제공하고 해양환경이나 어장, 취수지역, 휴양지역과 같은 다른 자원에 대한 잠재적 위험을 예측할 수 있다. 농도가 높아질 것으로 예상되는 지역에서 컴퓨터로 예측한 결과를 확인하는 모니터링이 필수적이다.

용해된 화학물질을 봉쇄하여 수거하는 방법은 극도로 제한되어 있다. 이는 확산과 회석이라는 자연적 과정을 촉진하는 방법이 이러한 화학물질에 대응하는 유일한 방법이 될 수 있다는 뜻이다. 이론상으로 용해된 화학물질의 확산층은 다른 화학물질을 투입함으로써 중화되거나, 응집, 산화 및 환원될 수 있다. 해안이나 한정된 수역에서 관련 당국의 승인을 통해 그 적용이 올바르다면 중화제가 효과적인 방법으로 사용될 수 있다. 해상에서의 화학물질 처리를 위해 응집제, 겔화제, 활성탄, 착화제(오염물질을 자신의 분자구조로 포집하는 화학물질), 이온 교환제와 같은 제품들을 사용할 수 있으며 이 제품들은 다음의 속성들을 가져야만 한다.

- 독성이 없다.
- 중화 과정이나 부산물은 독성이 없어야 한다.
- 낮은 생물학적 산소 요구량(BOD)을 가진다.
- 훈련된 요원이 안전하게 사용할 수 있어야 한다.
- 다루거나 보존하기 쉬워야 한다.
- 일반적으로 사용한 합리적인 가격이어야 한다.

그럼에도 불구하고 공해 상에서, 유출과 대응 사이의 시간 지연은 대량의 해수와의 반응을 고려할 때, 화학적 처리가 실용적이지 않거나 어떠한 이득도 기대하기 어려워 일반적으로 추천되지 않을 수 있음을 의미한다.

## 부유물

부유성 화학물질은 점성이 높거나 낮은 액체이거나 심지어 고체가 될 수도 있다. 만약 화학물질 유출이 높은 증기압을 가진다면 빠르게 증발해서 수면 확산막 위에 증기구름을 만들 것이다. 많은 부유성 물질들은 기름과 유사한 방법으로 수면유막을 형성하면서 해수면으로 확산될 것이다. 하지만 기름과 달리, 부유성 물질은 수면에서 관찰되지 않을 수도 있다. 지속성 부유 화학물질 유출의 경우, 항공탐색(SLAR, IR, UV)과 인공위성 이미지와 같은 기술을, 비록 HNS 유출에 대한 이러한 기술의 적용은 현실적 경험에는 한계가 있지만, 이용하여 탐지가 가능할 수도 있다.

만약 안전하다면, 수면에서 물질의 움직임을 제어하고 봉쇄하는 붐을 설치하는 것을 고려할 수 있다. 유희수기나 다른 유출유사고대응 장비는 수면에 있는 물질을 회수할 때 사용될 수 있다. 그러나 사용하기 전에, 유출 화학물질이 장비와 반응하지 않고 불꽃이 나더라도 폭발하지 않는다는 것을 확인하는 것이 중요하다. 독성이 심하거나 가연성 HNS의 경우 포집과 회수는 화학물질의 농도를 증가시켜 대응요원이나 지역 주민들에게 아주 위험한 환경을 초래할 수 있기 때문에 바람직하지 않을 수 있다. 이런 경우에는 자연적 소멸을 유도하여 위험 수준 이하로 농도가 감소시키는 것이 바람직할 수 있다. 화재나 폭발의 위험이 있는 합법적인 공간에서는, 대응 요원이 화재진압 또는 반응억제 폼을 사용할 수 있다.

특정 환경에서, 흡착제는 유출된 HNS를 모으고 농축하는데 사용될 수 있다. 흡착제는 유출 화학물질을 구조 내에 결합시킬 수 있는 재질 특성을 가져야 하며 이로서 흡착제 표면에 화학물질이 덮이게 된다. 흡착제는 화학물질을 캡슐화하여, 유출된 화학물의 확산을 막고 휘발성을 줄인다. 반대로, 흡착제의 사용은 유출 화학물질의 표면적을 증가시켜 필연적으로 증기 발생 비율을 증가시키게 된다. 더욱이 흡착제는 물에서 회수되기 때문에, 화학물질의 보유 유지력이 낮을 수 있다. 비록 흡착제가 육상기원 유출에 효과적으로 사용되어진다 해도 해양 환경에서의 흡착제 적용과 수거는 덜 효과적이다. 흡착 붐나 매트 사용이 회수가 어려운 가루나 섬유보다 더 선호된다. 흡착제의 주요한 약점은 비싸고 이동하기에 부피가 큰 많은 양의 오염물질을 배출하며 지역규정에 따라 처분되어야만 한다. 어떤 경우에 부유하는 화학물질을 연소하는 방법도 가능하지만, 대응자들의 건강과 안전을 위협하는 유독가스의 형성과 제어되지 않는 화재나 연기의 확산을 심사숙고해야 한다.

## 침강물질

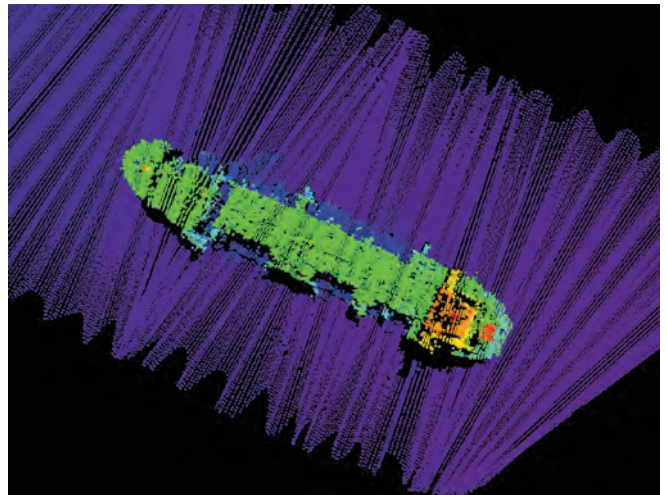
침강하는 화학물질은 해저를 오염시킬 가능성을 가지고 있으며 때때로 침전물 내에 지속적으로 잔류할 수도

있다. 그러므로 물속에 가라앉은 화학물질에 대한 대응은 화학물질과 심하게 오염된 침전물을 회수하는 것이다. 얇은 수심에서는 기계적 준설기와 펌핑/진공장치가 침강 물질을 회수하는데 사용될 수 있다. 회수된 화학물질과 오염된 침전물을 처리하고 처분할 때 세심한 주의가 필요하게 될 것이다.

## 침몰한 난파선

침몰선(그림18)안에 있는 HNS 화물은 그들의 향후 유출과 관련된 잠재적 영향, 갑작스럽고 재앙적 유출 혹은 오랫동안 지속되는 유출에 대한 우려가 생길 수 있다. 이러한 경우, 위험평가가 대응자들이 고려할 아래의 주요한 3가지 접근방법을 결정하기 위해 수행되어야만 한다.

- **소극적 방출**은 배출구나 선체의 부식을 통해 이루어진다. 이러한 접근방법은 위험평가를 통해 유출이 환경에 미치는 심각한 위험이 없거나 가용한 다른 방법이 없을 때 채택된다.
- **제어된 방출**은 화물이 용해 화학물질처럼 일부 국부적인 영향을 줄 수 있으나 비교적 느린속도의 유출은 광범위한 수층의 피해를 발생시키지 않을 때 고려될 수 있다.



▲ 그림 18: 침몰한 화학 선박에 대한 수중음파탐지기 영상

그러나 갑작스런 유출은 우려대상이 될 수 있다.

- **화물 제거**는 대상물질이 인간의 건강, 인근 환경과 경제적 활동의 잠재적 위험 측면에서 가장 높은 수준의 우려를 유발할 때 고려된다.

## Key points

- 만약 화학물질이 가연성, 폭발성, 부식성이 있고 산화 작용제, 자극성 또는 환경위험물이라면, 이들은 HNS(위험유해물질)로 고려된다.
- HNS의 물리적 특성은 바다에 유출되었을 때 그들의 거동을 지배하고 물질이 가스가 될 것인지 증발, 용해 혹은 침전될지를 결정한다.
- 해양환경에서 HNS의 영향은 그 화학물질에 관한 해양 유기체의 유독성, 노출정도, 민감성에 따라 좌우된다.
- 특정 HNS의 물과 공기중에 노출될 때의 잠재적 반응성, 만약 특정 화학물질이 동시 유출되었을 때 상호반응에 따른 열과 독성부산물의 생성에 대한 예측이 중요하다.
- 인간의 건강과 해양 환경에 주는 위험이 GESAMP에 의해 평가되어 HNS 사고의 안전한 대응을 지원하기 위해 인체의 노출한계를 IDLH, ERPG, AEGL과 TEEL로 표현된다. 관련 자료는 Safety Data Sheets로 제공된다.
- HNS사고에 대응하기 전에, HNS의 오염수준 모델링과 탐지를 기반으로 한 위험평가 수행이 필수적이다.
- 대응방법 선택은 크게 화학물질이 가스, 증기, 용해 혹은 침전물질인지에 따라 좌우된다. 가스상 및 빠르게 증발 또는 용해되는 물질들은 모니터링만이 유일한 대응이 될 수 있으며 반면 부유 및 침전물질은 회수가 가능할 수 있다.
- 개인보호장구(PPE)의 4단계 보호수준은 A, B, C, D로 널리 용인되고 있으며, A는 가장 높은 수준의 보호를 제공한다. 위험에 따라 적절한 PPE가 선택되어야 하며 높은 수준의 보호가 요구될 때 작업시간의 결정은 환경조건을 고려하는 것이 필수적이다.

## ITOPF 방제기술정보집 목록

- 1 기름오염 항공탐색 지침
- 2 해상 유출기름의 특성변화
- 3 기름오염방제시 오일펜스 사용지침
- 4 기름오염방제시 유처리제 사용지침
- 5 기름오염방제시 유회수기 사용지침
- 6 해안오염 식별지침
- 7 해안방제 지침
- 8 기름오염방제시 유흡착재 사용지침
- 9 기름 및 폐기물의 처리 지침
- 10 기름유출 대응의 리더쉽, 지휘 및 관리
- 11 어업 및 양식업에 대한 기름유출의 영향
- 12 사회·경제적 활동에 대한 기름유출의 영향
- 13 환경에 대한 기름유출의 영향
- 14 해상유출기름의 시료채취 및 모니터링 지침
- 15 기름오염에 대한 보상청구 지침
- 16 기름오염에 대한 긴급방제계획 수립지침
- 17 해상에서의 화학오염사고 대응 지침

국제유조선선주오염연맹(ITOPF)은 유류, 화학물질 및 기타 유해물질의 해양 유출에 효과적으로 대응하기 위해 전 세계 선주들과 그들의 보험사를 대표하여 설립된 비영리 조직입니다. 긴급 사고대응, 방제기술에 대한 권고, 피해 평가, 방제계획 수립 지원 및 교육훈련 제공 등의 기술적 서비스를 제공합니다.

본 방제기술정보집은 국제유조선선주오염연맹(ITOPF)의 기술진들의 경험을 바탕으로 개발되었고, 국제유조선선주오염연맹(ITOPF)의 승인 하에 해양경찰청에서 국문으로 번역하였습니다.



번역기관



### ITOPF Ltd

1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1HQ, United Kingdom

Tel: +44 (0)20 7566 6999  
 Fax: +44 (0)20 7566 6950  
 24hr: +44 (0)20 7566 6998

E-mail: [central@itopf.org](mailto:central@itopf.org)  
 Web: [www.itopf.org](http://www.itopf.org)

## 해양경찰청

인천광역시 연수구 해돋이로 130

Tel: 032-835-2293 Fax: 032-835-2991 Web: [www.kcg.go.kr](http://www.kcg.go.kr)

※ 본 정보집에 수록된 해양오염 방제기술은 다양한 오염사고 특성 및 환경에 따라 다르게 적용될 수 있으며, 내용중 일부는 생략 또는 의역되어 있을 수 있으므로 해당부분은 원문을 참고 하시길 바랍니다.